

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-163780

(43)Date of publication of application : 19.06.1998

(51)Int.Cl.

H03H 3/02  
G01C 19/56  
G01P 9/04  
H01L 41/08  
H01L 41/18  
H01L 41/24  
H03H 9/19

(21)Application number : 08-323935

(71)Applicant : NGK INSULATORS LTD

(22)Date of filing : 04.12.1996

(72)Inventor : YOSHINO TAKASHI

IMAEDA MINORU

KATO KENJI

SOMA TAKAO

## (54) PRODUCTION OF OSCILLATOR COMPOSED OF PIEZOELECTRIC SINGLE CRYSTAL

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a new working method for improving accuracy for working the outline of oscillator when forming the oscillator from the base material of piezoelectric single crystal.

SOLUTION: The base material composed of piezoelectric single crystal is irradiated with laser light, the molecules of base material are dissociated and evaporated by photochemical reaction and by performing working for removing the base material matching to the shape of oscillator, the oscillator is formed. It is preferable that the oscillator is an oscillator for rotating angular velocity sensor, the driving oscillation and detecting oscillation of oscillator are performed within a prescribed plane and the piezoelectric single crystal is selected out of a group of crystal, lithium niobate, lithium tantalate, lithium niobate/lithium tantalate solid solution and langasite [phonetic].

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-163780

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月19日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I
H 0 3 H 3/02		H 0 3 H 3/02 B
G 0 1 C 19/56		G 0 1 C 19/56
G 0 1 P 9/04		G 0 1 P 9/04
H 0 1 L 41/08		H 0 3 H 9/19 A
41/18		H 0 1 L 41/08 Z
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願平8-323935

(22) 出願日 平成 8 年(1996) 12 月 4 日

(71) 出願人 000004064

日本碍子株式会社

愛知県名古屋市長区須田町 2 番 56 号

(72) 発明者 吉野 隆史

愛知県名古屋市長区須田町 2 番 56 号 日

本碍子株式会社内

(72) 発明者 今枝 美能留

愛知県名古屋市長区須田町 2 番 56 号 日

本碍子株式会社内

(72) 発明者 加藤 賢治

愛知県名古屋市長区須田町 2 番 56 号 日

本碍子株式会社内

(74) 代理人 弁理士 杉村 暁秀 (外 9 名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電単結晶からなる振動子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 圧電単結晶の母材から振動子を形成するのに際して、振動子の外形の加工精度を向上させるような新たな加工方法を提供することである。

【解決手段】 圧電単結晶からなる振動子の製造方法であって、圧電単結晶からなる母材に対してレーザー光を照射し、光化学的な反応によって前記母材の分子を解離および蒸発させ、母材を振動子の形態に合わせて除去加工することによって、振動子を形成する。好ましくは、振動子が回転角速度センサ用の振動子であり、振動子の駆動振動と検出振動とが所定平面内で行われるものであり、圧電単結晶が、水晶、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体およびランガサイトからなる群より選ばれる。

#### 【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧電単結晶からなる振動子の製造方法であって、前記圧電単結晶からなる母材に対してレーザー光を照射し、光化学的な反応によって前記母材の分子を解離および蒸発させ、前記母材を前記振動子の形態に合わせて除去加工することによって、前記振動子を形成することを特徴とする、圧電単結晶からなる振動子の製造方法。

【請求項2】 前記圧電単結晶が、水晶、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体およびランガサイトからなる群より選ばれた一種以上の圧電単結晶であることを特徴とする、請求項1記載の圧電単結晶からなる振動子の製造方法。

【請求項3】 前記母材が平板形状の母材であり、この母材の主面に対して前記レーザー光を照射して前記母材を切断することによって、平板形状の振動子を製造することを特徴とする、請求項1または2記載の振動子の製造方法。

【請求項4】 前記振動子が回転角速度センサ用の振動子であり、前記振動子の駆動振動と検出振動とが所定平面内で行われるものであることを特徴とする、請求項3記載の圧電単結晶からなる振動子の製造方法。

【請求項5】 前記母材を除去加工して前記振動子を形成した後、前記振動子の前記駆動振動の周波数と前記検出振動の周波数とを調整するために、前記レーザー光を前記振動子の表面に照射して前記圧電単結晶を削除することを特徴とする、請求項4記載の圧電単結晶からなる振動子の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、圧電単結晶からなる振動子の製造方法に関するものである。

##### 【0002】

【従来の技術】 回転系内の回転角速度を検出するための角速度センサとして、圧電体を用いた振動型ジャイロスコープが、航空機や船舶、宇宙衛星などの位置の確認用として利用されてきた。最近では、民生用の分野としてカーナビゲーションや、VTRやスチルカメラの手振れの検出などに使用されている。

【0003】 このような圧電振動型ジャイロスコープは、振動している物体に角速度が加わると、その振動と直角方向にコリオリ力が生じることを利用している。そして、その原理は力学的モデルで解析される（例えば、「弾性波素子技術ハンドブック」、オーム社、第491～497頁）。そして、圧電型振動ジャイロスコープとしては、これまでに種々のものが提案されている。例えば、スペリー音叉型ジャイロスコープ、ワトソン音叉型ジャイロスコープ、正三角柱型音片ジャイロスコープ、円筒型音片ジャイロスコープ等が知られている。

【0004】 圧電振動型ジャイロスコープについては、

「圧電形振動ジャイロスコープ角速度センサ」（電子情報通信学会論文誌 C-I、Vol. J78-C-I No. 11 第547～556頁、1995年11月発行）にまとめられている。また、いわゆる音叉型の圧電振動子は、例えば特開平8-114457号公報に記載されている。

【0005】 しかし、圧電振動子を使用した振動型ジャイロスコープを更に新たな用途に展開するためには、その量産技術が最も重要である。しかし、圧電単結晶からなる振動子を、十分な精度を確保しつつ量産することは、極めて困難であった。現在、単結晶の加工方法としては、エッチング加工が通常である。また、特開平8-78985号公報においては、圧電共振子をレーザービームの照射によって形成する方法が提案されている。

##### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 エッチングによって単結晶母材を加工する場合には、加工断面の形状が、単結晶母材の表側と裏側とで非対称になり、加工精度が低いという問題がある。このようにエッチング面の形状が母材の表側と裏側とで非対称になると、これによってシミュレーション値とは異なる不必要な振動モードが発生し、ノイズ信号の増大の原因となる。

【0007】 また、特開平8-78985号公報においては、振動電極を設けた圧電体板に、レンズ等の集光手段によって集光されたレーザービームを操作しながら照射し、これによって、端面が傾斜面である圧電共振子を切り出すことを提案している。圧電体の種類としてはPZT、水晶、LiTaO<sub>3</sub>が例示されており、レーザービームの種類としてはヘリウム・ネオンレーザー、CO<sub>2</sub>レーザー、アルゴンレーザー、クリプトンイオンレーザー、キセノンレーザー等のガスレーザー、ルビーレーザー、YAGレーザー等の固体レーザーが挙げられている。具体的には、板厚1.5mmのマザーボードに、4ワットの強度のYAGレーザーを照射している。

【0008】 本発明者は、回転角速度センサー用の圧電振動子を圧電単結晶板から切り出す目的で、特開平8-78985号公報の記載に従って、ニオブ酸リチウム基板、タンタル酸リチウム基板、ランガサイト基板、水晶基板から振動子を切り出す実験を行った。しかし、実際にはこれらの圧電単結晶の基板から、振動子を良好な精度で切り出すことは不可能であることが判明してきた。具体的には、CO<sub>2</sub>レーザーをこれらの基板に照射すると、クラックが発生し、切断加工が不可能であった。また、Nd-YAGレーザーを照射した場合には、加工がほとんど進行しなかった。このように、レーザービームを圧電単結晶の母材に照射しても、振動子の外形を精密加工することは不可能であることが判明した。これらの理由から、圧電単結晶の母材から振動子を一定の精度をもって量産する技術が求められている。

【0009】 本発明の課題は、圧電単結晶の母材から振

動子を形成するのに際して、振動子の外形の加工精度を向上させるような新たな加工方法を提供することである。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、圧電単結晶からなる振動子の製造方法であって、圧電単結晶からなる母材に対してレーザー光を照射し、光化学的な反応によって母材の分子を解離および蒸発させ、母材を振動子の形態に合わせて除去加工することによって、振動子を形成することを特徴とする、圧電単結晶からなる振動子の製造方法に係るものである。

【0011】本発明者は、圧電単結晶からなる母材をレーザー光で切断する実験に失敗した後、失敗の原因について更に詳細に検討した結果、次の知見を得た。即ち、圧電単結晶の母材に対してレーザービームを照射して加熱熔融させ、加工するときには、母材の照射部分で、局部的に急熱と急冷とが起る。しかし、圧電単結晶、特にニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムなどは、熱衝撃に非常に弱い。なぜなら、圧電単結晶の内部で急激な温度変化があると、温度が変化した部分とその周辺で急激に焦電が発生し、クラックが不可避免的に発生するからである。例えば、CO<sub>2</sub> レーザービーム（波長10.6 μm）を照射すると、こうした焦電に起因するものと見られるクラックが多数発生し、これを抑制することはできず、実質上加工は不可能であった。

【0012】このため、本発明者は、いわゆるレーザーアブレーション技術に着目し、圧電単結晶を切断して振動子を製造するプロセスにレーザーアブレーション技術を適用できないかを検討した。従来、圧電単結晶材料をレーザーアブレーション技術によって切断加工することは、まったく類例がない。

【0013】例えば、ニオブ酸リチウム単結晶の結合エネルギーは8～9 eVであるので、これ以上のエネルギーを有するレーザー光を照射すると、純粋なアブレーション加工が可能になるはずである。しかし、8 eVのエネルギーは波長に換算すると約150 nmとなるが、150 nm以下の波長を有するレーザー光は極めて特殊なものしかないので、実用的ではない。

【0014】本発明者は、純粋なレーザーアブレーション技術ではなく、各圧電単結晶の吸収端の波長の近傍のレーザー光を高密度に集光し、圧電振動子母材の表面に照射することによって、多光子吸収過程によって圧電振動子の母材を切断できることを見いだした。この場合には、圧電振動子の母材の切断加工プロセスにおいて、若干の熱的影響があるので、擬似熱的加工と呼ぶ。

【0015】具体的には、圧電単結晶の吸収端の波長と、レーザー光の波長との差を、100 nm以下とすることが好ましく、50 nm以下とすることが一層好ましい。

【0016】圧電振動子としては、水晶、ニオブ酸リチ

ウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体またはランガサイト（La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>）が特に好ましく、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体またはランガサイトが一層好ましい。レーザー光の波長は、300 nm以下とすることが一層好ましい。ただし、実用的な観点からは、150 nm以上とすることが好ましい。また、現実の光源としては、エキシマレーザー光源、Nd-YAGの四次高調波（266 nmのレーザー光）、エキシマランプが、現在のところ実用的である。

【0017】レーザー光の照射装置としては、いわゆる一括露光方式の装置と多重反射方式の装置とが知られている。多重反射方式の場合には、マスクの開孔率が小さい場合にも、光の利用率高いという特徴を有している。本発明においては、多重反射系による照射装置を使用することが一層好ましい。

【0018】エキシマレーザーは、紫外線のパルス繰り返し発振レーザーであり、ArF（波長193 nm）、KrF（波長248 nm）、XeCl（波長308 nm）などの気体状の化合物が発振する紫外光を、光共振機により方向性を揃えて取り出したものである。

【0019】エキシマレーザーを用いたアブレーション加工は、例えば、ポリイミド等の微細加工のために孔を開けるのに使用されており、良好な形状の微細な孔の形成が可能であることが報告されている。エキシマレーザーの応用技術に関する文献としては、「Optus E」1995年11月号、第64～108頁の特集「実用期に入ったエキシマレーザー」を挙げることができる。

【0020】本発明において、レーザー光によって圧電単結晶を切断加工する加工方法としては、いわゆるスポットスキャン加工、一括転写加工、スリットスキャン加工を挙げることができる。

【0021】本発明の好ましい実施形態においては、振動子が回転角速度センサ用の振動子であり、振動子の駆動振動と検出振動とが所定平面内で行われるものである。この実施形態について更に詳細に説明する。

【0022】本発明者は、振動子の振動アームが回転軸に対して垂直方向に延びるように振動子を設置した場合にも、振動子から回転軸の方向に向かって一定重量の突出部を設けることなく、十分に高い感度で回転角速度を検出できるような振動子を作製する実験を行ってきた。こうした振動子は、例えば、自動車の車体回転速度フィードバック式の車両制御システムに用いる回転速度センサーに使用できる。このシステムにおいては、操舵輪の方向自身は、ハンドルの回転角度によって検出する。これと同時に、実際に車体が回転している回転速度を振動ジャイロスコープによって検出する。そして、操舵輪の方向と実際の車体の回転速度を比較して差を求め、この

差に基づいて車輪トルク、操舵角に補正を加えることによって、安定した車体制御を実現する。

【0023】本発明者は、このために、振動子の駆動振動と検出振動とが所定平面内で行われるような圧電単結晶製の振動子を、本発明の方法によって製造することに成功した。単結晶薄板に本発明に従ってレーザー光を照射し、疑似熱加工することによって、この振動子の全体を形成できる。

【0024】このような振動子は、温度変化に対して特に鈍感であるため、温度安定性を必要とする車載用センサーの振動子として好適である。この点について更に説明する。音叉型の振動子を使用した角速度センサとしては、例えば特開平8-128833号公報に記載された圧電振動型ジャイロスコープがある。しかし、こうした振動子において、振動子が2つの方向に向かって振動する。つまり、振動子がX-Y平面内で振動するのと共に、Z方向にも振動する。このため、振動子を特に前記したような単結晶によって形成した場合には、単結晶の2方向の特性を合わせる必要がある。

【0025】一方、一般に圧電振動型ジャイロスコープでは、測定感度を良好にするために、駆動の振動モードの固有周波数と検出の振動モードの固有周波数との間に、一定の振動周波数差を保つことが要求されている。しかし、単結晶は異方性を持っており、結晶面が変化すると、振動周波数の温度変化の度合いが異なる。例えば、ある特定の結晶面に沿って切断した場合には、振動周波数の温度変化がほとんどないが、別の結晶面に沿って切断した場合には、振動周波数が温度変化に敏感に反応する。

【0026】ここで、振動子が2つの方向に向かって振動すると、2つの振動面のうち少なくとも一方の面は、振動周波数の温度変化が大きい結晶面になる。

【0027】これに対して、振動子の全体を所定平面内で振動するように、振動子を形成することで、前記した単結晶の異方性の影響を受けないようにし、圧電単結晶の最も特性の良い結晶面のみを振動子において利用できるようにした。

【0028】具体的には、振動子の振動が単一平面内ですべて行われていることから、圧電単結晶のうち、振動周波数の温度変化がほとんどない結晶面のみを利用して振動子を製造することができる。これによって、きわめて温度安定性の高い振動型ジャイロスコープを提供できる。

【0029】こうした振動子を例示する。まず、一对の振動片を所定平面内で基部により結合してなる音叉型振動子と、この音叉型振動子を外部の固定部材に所定平面内において固定するための支持体とからなる振動子であって、所定平面内において、支持体に支持体の固定部材と接続した固定部分を支点とする屈曲運動が生じるよう構成できる。

【0030】図1は、この実施形態に係る振動子1を示す斜視図である。振動子1は、音叉型振動子と、支持体2とを備えている。音叉型振動子は、一对の振動片3A、3Bを備えており、各振動片3A、3Bは、それぞれ、X-Y平面内で支持体2の先端部分に対して接続部5、基部4を介して接続されている。支持体2の他端部が、外部の固定部材6に対してXY平面内において固定されている。一对の振動片3A、3Bは、互いにほぼ平行であり、かつ支持体2に対して平行に延びている。各接続部5は、支持体2に対して略垂直方向に延びている。

【0031】図示しない励振手段により、各振動片3A、3Bに、X-Y平面内において位相が完全に逆になるように、矢印Bで示すような振動を励起する。この状態で、Z軸を中心として振動子1の全体を回転角速度 $\omega$ で回転させると、コリオリの力により、各振動片3A、3Bには、矢印Dで示すように、Y軸に沿って互いに逆向きの力が作用する。その結果、音叉型振動子において、基部4および接続部分5の両端側で、基部4を中心とする互いに同じ向きモーメントC1、C2が働く。このモーメントC1、C2により、支持体2に、その固定部分7を中心とするXY平面内の屈曲振動Aが生じる。この屈曲振動Aを、図示しない屈曲信号検出手段により検出することで、回転角速度 $\omega$ を測定することができる。

【0032】また、基部と、基部から基部の長さ方向に対して交差する方向に延びる少なくとも一本の屈曲振動片とを備えており、基部と屈曲振動片とが実質的に所定平面内に延びるように形成されており、振動子の基部の一方の端部が固定されている振動子について例示する。

【0033】図2は、この振動子9を示す正面図である。振動子9においては、基部10が固定部材6から垂直に延びており、基部10の一方の端部10aが固定部材6に固定されている。基部10内に所定の励振手段14A、14Bが設けられている。基部10の他方の端部10b側に、基部10に対して垂直方向に延びる2本の屈曲振動片12A、12Bが設けられている。

【0034】この振動子9の振動のモードについて説明する。励振手段14A、14Bに対して駆動電圧を印加し、基部10を、固定部材6への固定部分7を中心として、矢印Eに示すように屈曲振動させる。この屈曲振動に伴い、振動子9の基部10だけでなく、各屈曲振動片12A、12Bの各点も、矢印Eのように振動する。

【0035】Z軸を回転軸とし、振動子9をz軸を中心として回転させる。基部10を、矢印Eに示すように屈曲振動させているときに、振動子9の全体をZ軸を中心として回転させると、矢印Fで示すようにコリオリ力が作用する。この結果、各屈曲振動片12A、12Bが、それぞれ基部10の他方の端部10bとの接続部分11を中心として、矢印Fで示すように屈曲振動する。

【0036】このように、基部10の屈曲振動によって、各屈曲振動片12A、12BにおいてX-Y平面内に発生するコリオリ力を、各屈曲振動片12A、12Bの接続部分11を中心とする屈曲振動に変換し、その屈曲振動から回転角速度を求めることができる。これによって、振動子の振動アームが回転軸Zに対して垂直方向に延びるように振動子を設置しても、回転角速度を高感度で検出できる。

【0037】本発明においては、振動子を圧電単結晶によって形成するので、励振手段（検出手段）14A、14B、13A、13B、13C、13Dとしては、電極を使用する。励振手段（または検出手段）14Aと14Bとの一方があれば、少なくとも励振（または検出）を行うことが可能である。また、検出手段（または励振手段）13A、13B、13C、13Dのうちの一つがあれば、少なくとも検出（または励振）を行うことが可能である。

【0038】また、前記のような振動子を、いわゆるH型の形態の振動子に対して適用することができる。例えば、両端が固定されている固定片部と、固定片部の一方の側に設けられている基部と、基部から基部の長さ方向に対して交差する方向に延びる少なくとも一本の屈曲振動片と、固定片部の他方の側に設けられている共振片とを備えており、固定片部、基部、屈曲振動片および共振片が実質的に所定平面内に延びるように形成されている振動子を製造できる。

【0039】図3は、この実施形態に係る振動子18を示す正面図である。振動子18では、固定片部19によって励振手段側と検出手段側とを分離している。固定片部19の両端を固定部材17によって固定する。固定片部19の一方の側に細長い基部24を設け、基部24の端部24bから、基部24の長さ方向に対して直交する方向に延びる2本の屈曲振動片27A、27Bを設けている。

【0040】固定片部19の他方の側に、共振片40が設けられている。共振片40は、固定片部19から垂直方向に延びる長方形の支持部20を備えており、支持部20内に所定の励振手段21A、21Bが設けられている。支持部20の他方の端部20b側に、支持部20に対して垂直方向に延びる2本の振動片23A、23Bが設けられている。基部24の端部24aと共振片40の端部20aとが、固定片部19に対して連続している。

【0041】この振動子18の振動のモードについて説明する。励振手段21A、21Bに対して駆動電圧を印加し、共振片40を、固定片部19との接続部分22を中心として、矢印Gのように振動させる。この振動に対する共振によって、基部24および一対の屈曲振動片27A、27Bが、固定部材19との接続部分25を中心として、矢印Hのように振動する。

【0042】この振動子18の全体が、回転軸Zを中心

として回転すると、各屈曲振動片27A、27Bにコリオリ力が作用する。この結果、各屈曲振動片27A、27Bが、それぞれ接続部分26を中心として、矢印Iで示すように振動する。この屈曲振動を、検出手段28A、28B、28C、28Dによって検出する。

【0043】このように、共振片40の接続部分22を中心とする屈曲振動によって、各屈曲振動片27A、27BにおいてX-Y平面内に発生するコリオリ力を、各屈曲振動片27A、27Bの接続部分26を中心とする屈曲振動に変換し、その屈曲振動から回転角速度を求めることができる。これによって、振動子の振動アームが回転軸Zに対して垂直方向に延びるように振動子を設置しても、回転角速度を高感度で検出できる。

【0044】また、図4(a)、(b)は、三脚音叉型の振動子25を示す正面図である。この振動子の動作は、「日本音響学会 平成8年春季研究発表会 講演論文集II」社団法人 日本音響学会 1996年3月第1071～1072頁「水平横置き・振動ジャイロスコープセンサを目的とした三脚音叉共振子」に記載されている。振動子25は、外部の固定部材に固定されるべき基部29と、基部29から突出している3本の音叉型の振動片26、27、28を備えている。両端の振動片26、28は、基部29から細長く突出している本体部分26a、28aと、各本体部分26a、28aから垂直方向に向かって延びている質量部26b、28bとを備えている。

【0045】この三脚音叉を振動ジャイロとして用いる場合の駆動振動モードは、対称-水平一次共振モード(HS-MODE)とし、検出用振動モードは、非対称-水平1次共振モード(HA-MODE)とする。これらの2つのモードは、理想的には、互いに縮退させておく。角速度を検出する際には、予めHS-MODEを駆動させておく。図4(a)は、HS-MODEの駆動状態を示すものであり、音叉型振動片26が、矢印Kで示すように振動し、音叉型振動片28が矢印Lで示すように、振動片26とは反対側に振動する。

【0046】角速度 $\omega$ が振動子に加わると、各振動片26、28の先端部分にある負荷質量部26b、28bに、駆動振動の方向K、Lに対して垂直な方向に向かってコリオリ力が発生する。コリオリ力が負荷質量部26b、28bに対して加わると、駆動振動の方向に向かってモーメントが働き、図4(b)に示すように、HA-MODEが励起される。即ち、各振動片26、28が矢印M、Nで示すように、互いに同じ方向へと向かって振動する。これと同時に、中央の振動片27が、矢印Pで示すように、各振動片26、28とは反対側へと向かって振動する。このHA-MODEの振動を検出することによって、角速度 $\omega$ を測定する。なお、前記した駆動振動と検出振動とは互いに可逆的である。

【0047】一般に圧電振動型ジャイロスコープでは、

測定感度を良好にするために、駆動の振動モードの固有周波数と検出の振動モードの固有周波数との間に、一定の振動周波数差を保つことが要求されている。なぜなら、駆動の振動モードの固有周波数と検出の振動モードの固有周波数とが近くなると、感度は良くなるが、応答速度が悪化し、この差が大きくなると、応答速度は良くなるが、感度が悪化するからである。

【0048】この問題を解決するために、本発明の好適な実施形態においては、母材を除去加工して振動子を形成した後、振動子の駆動振動の周波数と検出振動の周波数とを調整するために、レーザー光を振動子の表面に照射して、振動子を構成する圧電単結晶の少なくとも表面領域を昇華させ、除去することができる。

【0049】具体的には、図1の振動子1においては、各音叉型振動子の各振動片3A、3Bと接続部分5との境界に、張出部分35A、35Bを形成する。そして、いったんこの平面形状を有する振動子1を圧電単結晶母材から切り出した後、張出部分35A、35Bに対してレーザー光を照射し、質量を除去する加工を施す。これによって、各振動片3A、3Bの振動Bの振動モードの固有周波数を変化させる。

【0050】また、図2に示す振動子9においては、基部10の他方の端部10b側に、屈曲振動片12A、12Bから突出する突出部36が設けられている。そして、突出部36から質量を除去する加工を施すことによって、基部10の振動Eの振動モードの固有周波数を変化させる。また、各屈曲振動片12A、12Bの各先端側の37A、37Bから質量を除去する加工を行うことによって、各屈曲振動片の振動Fの振動モードの固有周波数を、それぞれ独立して変化させることができる。

【0051】また、図3に示す振動子18においては、基部24の他方の端部24b側に、屈曲振動片27A、27Bから突出する突出部36が設けられている。そして、突出部36から質量を除去する加工を施すことによって、基部24の振動Hの振動モードの固有周波数を変化させる。また、各屈曲振動片27A、27Bの各先端側の37A、37Bから質量を除去する加工を行うことによって、各屈曲振動片の振動Iの振動モードの固有周波数を、それぞれ独立して変化させることができる。

【0052】これらの場合、通常は振動子から取り去るべき質量は僅かであるので、振動子を構成する圧電単結晶を切断するに至る必要はなく、圧電単結晶の表面部分のみを除去して凹部を形成するのみで良い。本発明の方法、特にパルスレーザー光を所定時間照射する方法は、こうした一定質量の除去に特に適している。

【0053】以下、更に具体的な実験結果について述べる。(実施例1)厚さ0.2mmのLiTaO<sub>3</sub>のZ板からなる母材を準備した。これにNd-YAGのレーザーの4次高調波(波長266nm)のパルスレーザーを照射し、母材を切断加工した。母材の表面におけるレー

ザー光のパワーを250mWとし、レーザー光の走査速度を0.2mm/秒とし、パルスの繰り返し周波数を2kHzとし、パルスの幅を45nsecとした。加工面の直角度は90±0.1deg.であり、中心線平均表面粗さRaは4μmであった。この方法により、図4に示す平面形状の振動子25を前記母材から切り出した。

【0054】(比較例1)厚さ0.2mmのLiTaO<sub>3</sub>のZ板からなる母材を準備した。これにCO<sub>2</sub>レーザー(波長10600nm)のパルスレーザーを照射し、母材の切断加工を試みた。母材の表面におけるレーザー光のパワーを100Wとし、レーザー光の走査速度を0.2mm/秒とし、パルスの繰り返し周波数を2kHzとし、パルスの幅を200μsecとした。しかし、母材に微細なクラックが無数に発生したため、切断加工はできなかった。

【0055】(比較例2)厚さ0.2mmのLiTaO<sub>3</sub>のZ板からなる母材を準備した。これにYAGレーザー(波長1060nm)のパルスレーザーを照射し、母材の切断加工を試みた。母材の表面におけるレーザー光のパワーを300mWとし、レーザー光の走査速度を0.2mm/秒とし、パルスの繰り返し周波数を2kHzとし、パルスの幅を45nsecとした。しかし、母材はレーザー光を吸収しにくいために、母材を切断するまでに至らなかった。

【0056】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、圧電単結晶の母材から振動子を形成するのに際して、振動子の外形の加工精度を向上させるような新たな加工方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の方法で製造できる振動子の一形態を示す斜視図である。

【図2】本発明の方法で製造できる振動子の一形態を示す正面図である。

【図3】本発明の方法で製造できる振動子の一形態を示す正面図である。

【図4】本発明の方法で製造できる振動子の一形態を示す正面図である。

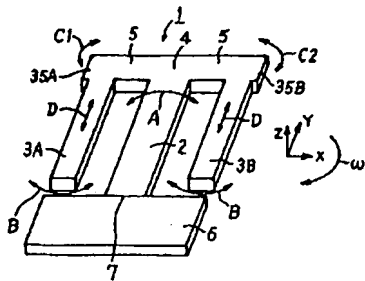
【符号の説明】

1、9、18、25 振動子 2 支持体 3A、3B 一对の振動片  
6、17 外部の固定部材 7 振動子の固定部材6への固定部分 10、24 基部 12A、12B、27A、27B 基部に対して垂直方向に延びる2本の屈曲振動片 13A、13B、13C、13D、14A、14B、21A、21B 28A、28B、28C、28D 励振手段(検出手段) 19 固定片部 40 共振片 A 支持体2の屈曲振動 B 各振動片3A、3Bの振動 C1、C2 回転のモーメント E 基部10の固定部分7を中心とする屈

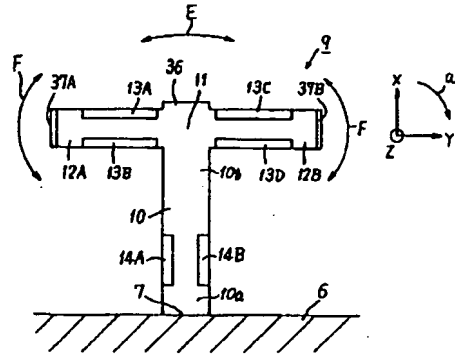
曲振動 F 各屈曲振動片 12A、12B の接続部分 11 を中心とする屈曲振動 G 共振片 40 の接続部分 22 を中心とする振動  
H 基部 24 の接続部分 25 を中心とする振動 I

屈曲振動片 27A、27B の接続部分 26 を中心とする振動 X、Y 振動子が振動する所定平面 Z 回転軸

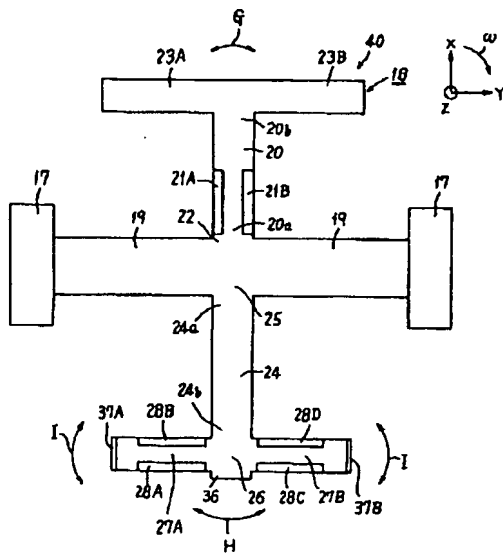
【図 1】



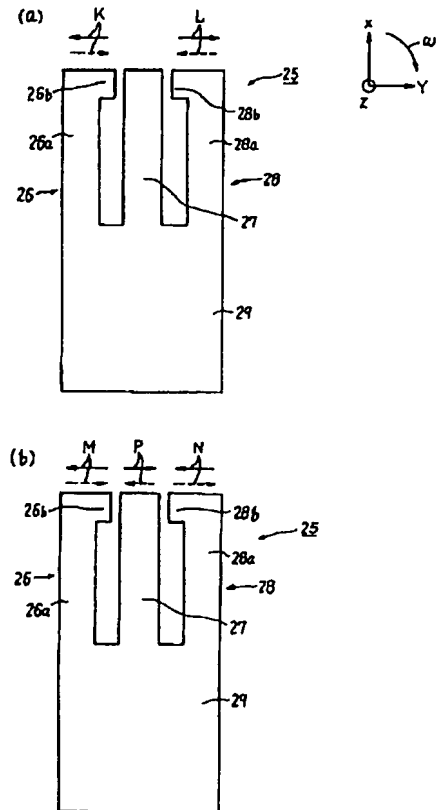
【図 2】



【図 3】



【図 4】





フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 41/24

H 0 1 L 41/18

1 0 1 A

H 0 3 H 9/19

41/22

A

(72) 発明者 相馬 隆雄

愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 56 号 日

本碍子株式会社内